



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000223298 A

(43) Date of publication of application: 11.08.00

(51) Int. Cl.
H05H 1/46
C23C 16/511
C23F 4/00
H01L 21/205
H01L 21/3065
H01L 21/31

(21) Application number: 11023454

(22) Date of filing: 01.02.99

(71) Applicant: TOKYO ELECTRON LTD ANDO
MAKOTO GOTO NAOHISA

(72) Inventor: ISHII NOBUO
KOBAYASHI YASUO
MORIMOTO TAMOTSU
ANDO MAKOTO
GOTO NAOHISA

(54) PLASMA TREATMENT DEVICE

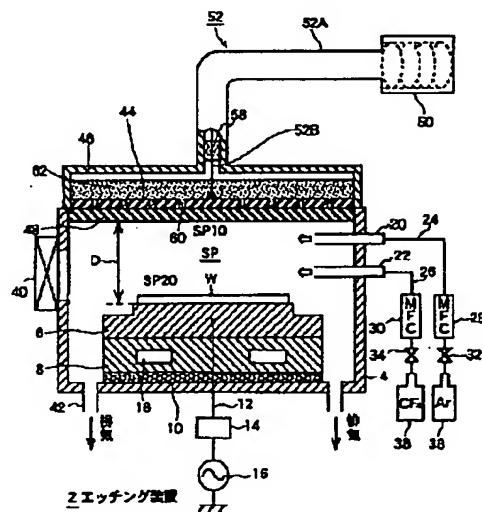
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To loosen the condition of strengthening an electric field in a process space opposing to the center part of a flat antenna and the non-uniformity of the plasma density by disposing a plurality of slots with devised interval and length on a flat antenna member.

SOLUTION: A plurality of slots 60 having an interval shorter than a microwave and a length shorter than a half of a wavelength is disposed on a flat antenna member 44. In the meantime that the microwave reaches to the flat antenna member 44 of a radial waveguide box 46 and is transferred to the periphery radially, the microwave is radiated through a plurality of the slots 60 to a plasma generating region SP 10 above a process space SP generally in the diameter direction. The microwave reflected on the inner wall surface of the radial waveguide box 46 on the end in the diameter direction of the flat antenna member 44 is also radiated to the plasma generating region SP 10 in the diameter direction. The microwave radiated in the diameter direction has an electric field component perpendicular to the plane of the flat antenna member 44 and allows an

argon gas excited by this electric field component to be plasma.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-223298

(P2000-223298A)

(43) 公開日 平成12年8月11日 (2000.8.11)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

B 4 K 0 3 0

C 2 3 C 16/511

C 2 3 C 16/50

E 4 K 0 5 7

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

D 5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

5 F 0 4 5

21/3065

21/31

C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平11-23454

(22) 出願日

平成11年2月1日 (1999.2.1)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(71) 出願人 000117674

安藤 真

神奈川県川崎市幸区小倉1番地1-I-

312

(71) 出願人 000166801

後藤 尚久

東京都八王子市城山手2-8-1

(74) 代理人 100094651

弁理士 大川 晃

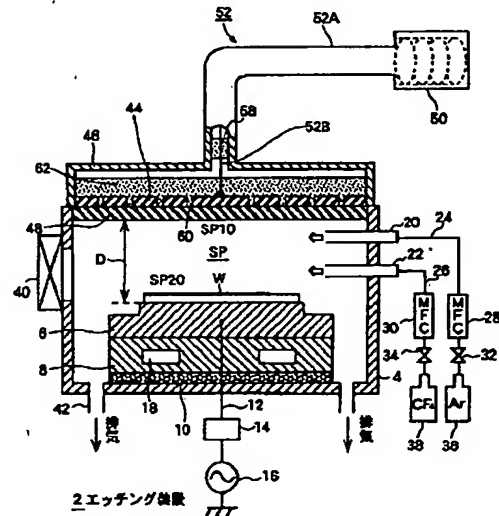
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 プラズマ処理装置において、平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間の電界が強くなる状態を緩和すると共に、プラズマ形成領域におけるプラズマ密度の不均一性を緩和する。

【解決手段】 マイクロ波発生器50にて発生したマイクロ波は導波管52により平面アンテナ部材44に供給される。平面アンテナ部材44には、互いの間隔がマイクロ波の導波管52内における管内波長より短く、かつそれぞれの長さが前記管内波長の1/2より短い複数のスリット60が形成されている。これらのスリットは、軸対称性を有しないパターンで平面アンテナ部材44の中心部以外の領域に配置されている。



4: 処理容器

8: 処理台

38: プラズマガス源

39: 処理ガス源

44: 平面アンテナ部材

48: ラジアル導波管

49: 石英ガラス板

50: マイクロ波発生器

52: 導波管

58: シールド部材

60: スリット

SP: 処理空間

W: 半導体ウェーハ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被処理体を載置する載置台を内部に設けた気密な処理容器と、マイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段が発生したマイクロ波を前記処理容器へ導入するマイクロ波導入手段と、このマイクロ波導入手段に接続され、かつ前記載置台に対向して配置された平面アンテナ部材とを備えたプラズマ処理装置であって、前記平面アンテナ部材には、互いの間隔が前記マイクロ波導入手段内におけるマイクロ波の波長より短く、かつそれぞれの長さが前記波長の $1/2$ より短い複数のスロットが、軸対称性を有しないパターンで前記平面アンテナ部材の中心部以外の領域に配置されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記マイクロ波導入手段は同軸導波管であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記スロットは、その法線が前記平面アンテナ部材の中心部を通らないように配置されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記スロットは、前記平面アンテナ部材の面上に仮想的に形成された、前記平面アンテナ部材の中心部を通らない複数の直線上に配置されていることを特徴とする請求項3に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記スロットはその法線の方向が前記直線の方向に一致するように前記直線上に配置されていることを特徴とする請求項4に記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記スロットは、前記平面アンテナ部材の面上に仮想的に形成された、共通の中心を有し、かつ中心部から周辺部へ向かうに従って辺の長さが漸次長くなる複数の多角形の辺上に配置されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記多角形は前記平面アンテナ部材の中心部から周辺部へ向かうに従って、前記共通の中心の回りに漸次回転されたものであることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 時計回りの回転または反時計回りの回転のいずれか一方のみに回転させたことを特徴とする請求項7に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 時計回りの回転と反時計回りの回転の双方に回転させたことを特徴とする請求項7に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記複数の多角形は一つずつ閉じていることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 前記複数の多角形は閉じずに辺が連続していることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記複数のスロットの長さを変化させたことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記スロットは、前記平面アンテナ部材の面上にマトリックス状に配置されたスロット群からなることを特徴とする請求項3に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、CVD、エッチング、スパッタリング、アッシング等の処理に好適なプラズマ処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体製品の高密度化および高精細化に伴い、半導体製品の製造工程において、成膜、エッチング、アッシング等の処理のためにプラズマ処理装置が使用されている。

【0003】従来、この種のプラズマ処理装置としては、磁場形成手段を有するプラズマ発生室にマイクロ波導入口を設けて電子サイクロトロン共鳴空洞を形成し、プラズマ発生室からイオンを引き出して、反応室内の半導体ウェーハにイオンビームを照射するように構成された装置（特公昭58-13626号公報）、マイクロ波を導波管により空洞共振器の一端からその内部へ導入し、この空洞共振器の他端に設けられたスロットからマイクロ波をプラズマ発生室へ放射するように構成された装置（特開昭63-293825号公報）等があった。

【0004】しかしながら、特公昭58-13626号公報に示されているような装置では、プラズマ発生室と反応室とを有するため、装置全体が大型になってしまうという問題点があった。また、特開昭63-293825号公報に示されているような装置も、空洞共振器とプラズマ発生室とを有するため、同様な問題点があった。

【0005】これに対して、渦巻きまたは同心円上に配置されたスロットを有する円形の板状マイクロ波放射部材（平面アンテナ部材）を同軸管の先端に取り付け、この板状マイクロ波放射部材を放電空間を有する真空容器（処理容器）内に配置し、前記板状マイクロ波放射部材に対向するように前記真空容器内に配置された半導体ウェーハ等の試料にマイクロ波を照射するように構成されたプラズマ処理装置（特開平1-184923号公報、特開平8-111297号公報等）では、真空容器自体が空洞共振器構造を有するため、装置全体の小型化が実現できる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記特開平8-111297号公報に記載の装置では、高密度のプラズマを得るために大きな電力を投入しようとしても、ある程度以上の電力が投入できないという問題点があった。

【0007】そこで、本発明者等は、特願平8-153357号（特開平9-181052号）により、この問題を解決したプラズマ処理装置を提案した。このプラ

ズマ処理装置では、平面アンテナ部材に形成されているスロットの長さおよびスロット間の距離を前述した特開平8-111297号公報のものとは異ならせることにより、処理容器内の処理空間には、平面アンテナ部材の表面から離れるに従って指数関数的に減衰するような電界を形成することを可能にしている。ここで、平面アンテナ部材の半径方向のスロット間の距離は、好ましくはマイクロ波の同軸管内波長の5%~50%の範囲の値

(特開平8-111297号公報のプラズマ処理装置では、同軸管内波長と同程度の値)に設定され、各スロットの長さは、好ましくは前記管内波長の $(1/2) \pm 30\%$ の範囲の値(特開平8-111297号公報のプラズマ処理装置では、同軸管内波長のほぼ $1/2$ から自由空間波長のほぼ $1/2$ の範囲の値)に設定されている。

【0008】このように構成されたプラズマ処理装置によれば、プラズマを発生させるための電力の投入が電磁場ではなく静電場を介して行われるため、投入電力に上限値はなくなり、効率的に電力を供給することが可能となる。

【0009】ところが、このプラズマ処理装置においては、平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間の電界が強くなってしまおうという問題点があることが判明した。その原因について、本発明者は以下のように考える。同軸導波管の内導体から平面アンテナ部材の中心に供給されたマイクロ波は半径方向に伝搬しながら、スロットを通して処理空間に放射される。このプラズマ処理装置では、スロットの間隔が前述したような値に設定されているため、僅かの量のマイクロ波がスロットを通して径方向外側へ放射される。従って、大部分のマイクロ波は平面アンテナ部材の半径方向の端(導電性材料で構成されたラジアル導波箱の内壁面)で反射して戻ってくる。そして、戻ってきたマイクロ波がスロットを通して径方向内側へ放射される。ここで、平面アンテナ部材に形成されたスロットの法線が平面アンテナ部材の中心を通るように配置されているので、スロットから放射されたマイクロ波が平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間に集中し、そこの電界が強くなるものと考えられる。

【0010】また、前記特開平9-181052号で提案したプラズマ処理装置においては、平面アンテナ部材の下面に配置されている石英ガラス板の直下、すなわちプラズマ形成領域のプラズマ密度が不均一になってしまおうことが判明した。その原因は、平面アンテナ部材に形成されているスロットパターンが軸対称性を有していると、軸対称性を有する同軸導波管と軸対称性を有する平面アンテナ部材とが固有のモードで共鳴してしまうためと考えられる。なお、ここで軸対称性を有するとは、同心円のように、平面アンテナ部材の中心の回りに任意の角度回転させても形状が変化しないことを意味する。

【0011】本発明はこのような状況に鑑みてなされた

ものであって、平面アンテナ部材に形成するスロットの長さ、スロットの間隔、およびその配置を工夫することにより、平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間の電界が強くなる状態を緩和できるようにしたプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0012】また、本発明は、平面アンテナ部材に形成するスロットの長さ、スロットの間隔、およびその配置を工夫することにより、プラズマ形成領域におけるプラズマ密度の不均一性を緩和できるようにしたプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前述した本発明の課題は、被処理体を載置する載置台を内部に設けた気密な処理容器と、マイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段が発生したマイクロ波を前記処理容器へ導入するマイクロ波導入手段と、このマイクロ波導入手段に接続され、かつ前記載置台に対向して配置された平面アンテナ部材とを備えたプラズマ処理装置であって、前記平面アンテナ部材には、互いの間隔が前記マイクロ波導入手段内におけるマイクロ波の波長より短く、かつそれぞれの長さが前記波長の $1/2$ より短い複数のスロットが、軸対称性を有しないパターンで前記平面アンテナ部材の中心部以外の領域に配置されているプラズマ処理装置により解決することができる。

【0014】このように構成されたプラズマ処理装置によれば、マイクロ波導入手段から平面アンテナ部材に供給されたマイクロ波は、平面アンテナ部材の半径方向へ伝搬する過程で、僅かの量がスロットを通して径方向外側へ放射される。大部分のマイクロ波は半径方向の端で反射して戻り、その過程でスロットを通して径方向内側へ放射される。半径方向へ伝搬する過程で放射されたマイクロ波と、反射して戻ってくる過程で放射されたマイクロ波とが合成されるが、軸対称性を有しないパターンでスロットが配置されているので、放射されたマイクロ波の電界が平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間で強くなる状態が緩和される。また、マイクロ波導入手段から平面アンテナ部材の中心に供給されたマイクロ波はスロットを通して処理空間に放射される際に、平面アンテナ部材の半径方向(ラジアル方向)からずれた方向へ伝搬するので、導波管52と平面アンテナ部材44との共鳴を回避することができる。これらの二つの作用により、載置台上に均一なプラズマを発生させることができる。

【0015】さらに、径方向に放射されたマイクロ波はアンテナ平面に垂直な電界成分を有しているので、その電界成分によって、処理容器内に供給されたプラズマ用ガスの分子が効率良く加熱される。この結果、電力の吸収効率が向上するので、プラズマを効率良く発生させることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るプラズマ処理装置の一実施の形態を図面を参照しながら詳細に説明する。図1は本発明に係るプラズマ処理装置の一実施の形態を示す断面図である。

【0017】本実施の形態においてはプラズマ処理装置をプラズマエッチング装置に適用した場合について説明する。図1に示されているように、このプラズマエッチング装置2は、例えば側壁や底部がアルミニウム等の導体により構成されて、全体が筒体状に成形された処理容器4を有しており、内部は密閉された処理空間SPとして構成されている。

【0018】この処理容器4内には、上面に被処理体としての例えば半導体ウェーハWを載置する載置台6が収容される。この載置台6は、例えばアルマイト処理を施したアルミニウム等により中央部が凸状かつ平坦になされた略円柱状に形成されている。また、この下部は同じくアルミニウム等により円柱状になされた支持台8により支持されると共に、この支持台8は処理容器4内の底部に絶縁材10を介して設置されている。

【0019】載置台6の上面には、ここにウェーハを保持するための静電チャックやクランプ機構（図示せず）が設けられている。そして、この載置台6は給電線12を介してマッチングボックス14および例えば13.56MHzのバイアス用高周波電源16に接続されている。載置台6を支持する支持台8には、プラズマ処理時のウェーハを冷却するための冷却水等を流す冷却ジャケット18が設けられている。処理容器4の側壁には、ガスの供給手段として、容器内にプラズマ用ガス、例えばアルゴンガスを供給する石英パイプ製のプラズマガス供給ノズル20や処理ガス、例えばエッチングガスを導入するための例えば石英パイプ製の処理ガス供給ノズル22が設けられている。これらのノズル20、22はそれぞれガス供給路24、26によりマスフローコントローラ28、30および開閉弁32、34を介してそれぞれプラズマガス源36および処理ガス源38に接続されている。処理ガスとしてのエッチングガスは、CF₄、CHF₃、CF₃等のガスを用いることができる。また、処理容器4の側壁の外周には、処理容器4の内部に対してウェーハを搬入・搬出する時に開閉するゲートバルブ40が設けられる。

【0020】さらに、処理容器4の底部には、図示されない真空ポンプに接続された排気口42が設けられており、必要に応じて処理容器4内を所定の圧力まで真空引きできるようになされている。

【0021】一方、処理容器4内の上部には、静電場を形成するための平面アンテナ部材44が設けられる。平面アンテナ部材44は、高さの低い中空円筒状容器からなるラジアル導波箱46の底部として構成されている。そして、ラジアル導波箱46は、載置台6に対向させて設けられる。このラジアル導波箱46は、導電性材料、

例えばアルミニウムによりほぼ円盤状に形成されている。このアンテナ部材44の下面全面にわたって、保護板として例えば厚さ2mm程度の石英ガラス板48が気密に設けられており、プラズマからアンテナ部材44を保護すると同時に、ラジアル導波箱46内を気密に保持している。この石英ガラス板48に代えて保護板としてセラミック薄板等を用いるようにしても良い。

【0022】ラジアル導波箱46の上面の中心には、他端が例えば2.45GHzのマイクロ波発生器50に接続された導波管52の外管52Aが接続され、内部の内側ケーブル52Bは円板状アンテナ部材44の中心部に接続されるか、あるいは僅かにこれより離間されている。図は接続されている場合を示している。ここでは、導波管として、同軸導波管を例示したが、断面円形あるいは矩形の導波管を用いることもできる。

【0023】導波管52とラジアル導波箱46との接続部には、例えばセラミックシールよりなるシール材58が管内にロウ付け等により気密に設けられており、ラジアル導波箱46内を真空状態に保持している。

【0024】一方、ラジアル導波箱46内には、平面アンテナ部材に供給されるマイクロ波の波長を短くして波長の短い管内波長とするために所定の誘電率の誘電体62が収容されている。この誘電体62としてはAl₂O₃、SiN等の誘電損失の少ないものを用いることができる。また、平面アンテナ部材44の下面と載置台6の上端載置面との間の距離Dは、例えば5~10cm程度に設定されており、処理空間SPを、プラズマ形成領域SP10と、この空間より拡散するプラズマによる活性種で実際に処理が行われるプロセス領域SP20とに分離している。

【0025】平面アンテナ部材44は、例えば直径50cm、厚さ0.1~2.0mm程度、好ましくは0.3mm~1.0mmの導電性材料からなる円板、例えば銅製の円板からなる。

【0026】次に、図2を参照しながら、平面アンテナ部材44に形成されたスロットの特徴を説明する。ここには、円板状アンテナ部材44の中心44Aと3つのスロット60A、60B、60Cが図示されている。

【0027】スロットの長さL1は、 $0 < L1 < \lambda g / 2$ の条件を満たすように設定されている。ここで、 λg はマイクロ波の導波管内波長である。各スロットの長さは前記条件を満たしていればよく、同じ長さである必要はない。例えば周辺部がその他の部分より長くても良い。各スロットの長さL1は $\lambda g / 10 \leq L1 \leq \lambda g / 2$ の範囲内に設定することが好適である。

【0028】スロット間隔L2は、 $0 < L2 < \lambda g$ の条件を満たすように設定されている。ここで、スロット間隔とは、あるスロットを基準にして、それに最も近い場所に位置するスロットを選択し、この二つのスロットの中心と円板状アンテナ部材44の中心44Aとの距離の

差として定義される。例えば、図2の場合、スロット60Bとスロット60Cの間隔は、スロット60Bの中心60BOから円板状アンテナ部材44の中心44Aまで距離 L_3 と、スロット60Cの中心60COから円板状アンテナ部材44の中心44Aまで距離 L_4 との差になる。スロットの長さと同様、スロット間隔も同じ値である必要はない。例えば周辺部がその他の部分より短くても良い。そして、各スロットの間隔 L_2 は $\lambda_g/20 \leq L_2 \leq \lambda_g/4$ の範囲内に設定することが好適である。

【0029】スロットの形状は、幅よりも長さ方向の寸法が大きい。そして、長手方向の両端部は半円形に形成する。望ましい幅は1~4mmである。

【0030】各スロットの法線VLは円板状アンテナ部材44の中心部を通らないように、各スロットの向きが設定されている。ここで、スロットの法線とは、スロットの中心においてその長手方向と直交する直線である。このように、各スロットの法線VLが円板状アンテナ部材44の中心部を通らないように、各スロットの向きが設定されているので、ラジアル導波箱46の内壁面で反射して戻ってきたマイクロ波がスロットを通して径方向内側へ放射されても、平面アンテナ部材44の中心部に対向する処理空間の電界が強くなる状態が緩和される。また、各スロットの法線VLが円板状アンテナ部材44の中心部を通らないように、各スロットの向きが設定されているということは、スロットパターンが軸対称性を有していないことを意味するので、導波管52の内導体52Bから平面アンテナ部材44の中心に供給されたマイクロ波はスロットを通して処理空間に放射される際に、平面アンテナ部材44の半径方向（ラジアル方向）からずれた方向へ伝搬する。これによって、導波管52と平面アンテナ部材44との共鳴を回避することができるので、平面アンテナ部材44の直下におけるプラズマ密度の不均一性を緩和することができる。

【0031】次に、図3を参照しながらこのようなスロットパターンを構成する方法の一例を説明する。このようなスロットパターンは下記(1-1)~(1-8)の手順により構成することができる。

【0032】(1-1) 平面アンテナ部材ANTの中心Oを通る任意の直線Aを引く。

【0033】(1-2) 中心Oから距離 L_a ($L_a > 0$) の点Bをとる。

【0034】(1-3) 点Bを通り、直線Aに垂直な直線Cを引く。ここで、直線Cは、例えば直線Aに対して反時計回りの半分のみで良い。

【0035】(1-4) 直線C上で、点Bから距離 L_b ($L_b \geq 0$) の点Eをとる。

【0036】(1-5) 点Eを通り、直線Cに垂直なスロットS1を配置する。スロットS1の長さは SL_1 ($SL_1 > 0$) とし、点EはスロットS1の中心とする。

【0037】(1-6) 点Eから予め定められた距離SSx

(xは2からNまでの整数)で、点Eに対して点Bとは反対側にスロットSxを順に配置する。スロットSxは平面アンテナ部材ANTの最外周まで配置する。なお、図3にはスロットS1からS4まで図示した。

【0038】(1-7) 直線A上で点Oに対して点Bの反対側の距離 $L_{a'}$ ($L_{a'} > 0$) の位置に点B'をとる。

【0039】(1-8) 上記(1-3) から(1-6)までの操作を行い、直線C'、点E'、およびスロットSx' (x'は1からNまでの整数)を得る。このとき、Sx'がSxと干渉しないように、 L_a 、 $L_{a'}$ 、 L_b 、 $L_{b'}$ ($L_{b'}$ は図示せず)の値を調整する。

【0040】(1-9) 直線Aを例えば時計回りに予め定められた適当な角度 θ だけ回転させ、直線A1を得る。ここでは、 θ を約 45° にした場合を図示した。

【0041】(1-10) 上記(1-2) から(1-8)までの操作を行い、直線A1と直交し、かつ中心Oに対して反対側の2本の直線C1、C1' (図示せず)上にスロットを配置する。

【0042】(1-11) アンテナ外周部に空白がなくなるまで、回転角度 θ を変えて上記(1-9)と(1-10)を繰り返す。

【0043】なお、直線Cの代わりに点Bを通る曲線を作成し、その上にスロットを配置しても良い。また、ここでは直線AおよびA1の直交する直線をC、C'およびC1、C1'の2本づつとしたが、2本に限らず任意の偶数に選定することもできるし、さらに偶数に限らず任意の奇数に選定することもできる。奇数本の場合には、例えば直線Aと直交する直線C上にスロットS1、S2、S3、S4...と形成し、その後、直線Cを点Oを中心として単純に角度 θ 回転させ、その回転させた直線上にスロットS1'、S2'、S3'、S4'...を形成するようにしてもよい。

【0044】上記手順において、導波管の内導体の外形寸法以上の半径を有する領域、好ましくは導波管の外導体の内径寸法以上で管内波長以下の寸法を半径とする領域に空白領域（スロットが形成されない領域）が存在するように、 L_a および L_b の値を適切に設定することが好適である。その理由は、その領域ではマイクロ波の電磁界の状態が他の部分、例えば中心から1波長程度の場所と異なっているからである。また、導波管と平面アンテナ部材との接続部では電磁界のベクトルの向きが変化して電磁界が乱れるので、それがある程度収束するまでの領域にはスロットを設けないようにすることが必要であるからである。そして、平面アンテナ部材ANTの中心部に対向する処理空間の電界が強くなる状態の緩和と平面アンテナ部材直下のプラズマ密度の不均一性の緩和を実現するためである。

【0045】なお、図3では便宜上、スロットの形状を長方形に描いたが、好ましくは、スロットの形状は図2に示したような長丸とし、両端部の曲率半径がrの場合

合、スロットの幅を $2r$ にする。

【0046】図3に示した手順で完成させたスロットパターンを例を図4に示す。このスロットパターンでは、スロットは48本の直線上に配列されている。48本の直線は4本づつ12組に区分される。ここでは、図3の直線A、C、C'、A1、C1、C1'に対応する直線を太い線で記載し、符号を付した(ただし、図3では直線A1は直線Aを時計回りに約 45° 回転させたものとしたが、図4では時計回りに 30° 回転させたものとした)。各組の直線はスロットが形成されていない領域で交差している。各スロットの中心は直線上に存在し、かつ各スロットの法線は直線方向と一致している。なお、このスロットパターンにおける各組4本毎の直線を互いに平行にしても良い。また、各直線上のスロットの法線の向きを統一する必要はない。さらに、スロットの中心を直線上に並べなくても良い。

【0047】次に、図5～図8を参照しながら、図3および図4とは異なるスロットパターンについて説明する。これらのスロットパターンも図3を参照しながら説明した三つの特徴、すなわち、スロットの長さは $\lambda g/2$ より短い、スロット間隔は λg より短い、中心部に空白領域を設ける、という特徴を有することに変わりはない。ただし、各スロットの法線は平面アンテナ部材の中心部を通らなくても良いし、通っても良い。これらのスロットパターンは以下に示す規則(2-1)～(2-9)に従って配置したものである。

【0048】(2-1) スロットは平面アンテナ部材のアンテナ面上に仮想的に構成した多角形の各辺上に配置される。多角形は四角形から八角形が望ましい。図5は四角形の例であり、図6～図8は六角形の例である。

【0049】(2-2) 平面アンテナ部材の中心部に構成した一つの多角形の外側に、共通の中心点を有し、かつ辺の長さを漸次長くした多数の多角形を構成する。互いにほぼ平行な二辺の間隔は、管内波長 λg の50%以下、望ましくは30%から20%程度とする。

【0050】(2-3) 上記二辺の間隔は面内で可変である。例えば、中心部は λg の10%、周辺部は3%程度とし、その間は線型に補間する。

【0051】(2-4) 多角形は、中心部から外側へ向かうに従って、中心点を基準にして徐々に回転させることが好適である。

【0052】回転角の値はおおよそ $\{360/2N\}^\circ$ から $\{360/N\}^\circ$ が望ましい。ここで、 N は多角形の辺の数である。従って、面内に構成される多角形の数を M とすると、隣り合う多角形の回転角度の差は $\{360/2N \cdot M\}^\circ$ から $\{360/N \cdot M\}^\circ$ が好適である。

【0053】図5の場合、時計回りに 1° ずつ回転させたものである。また図6の場合、時計回りに 0.7° ずつ回転させたものである。なお、隣り合う多角形の辺の

間隔が狭くなっている領域では、スロットを適当に間引く。

【0054】(2-5) 多角形の回転は、単調な一方方向の回転ではなく、途中で逆方向の回転を組み合わせても良い。例えば、六角形を面内に40個構成する場合、中心部から2番目乃至20番目の六角形については時計回りに 3° ずつ回転させ、21番目は反時計回りに 1.5° 回転させ、22番目乃至40番目については反時計回りに 3° ずつ回転させる。

【0055】図8のパターンでは、六角形を面内に48個構成しており、中心部から2番目乃至21番目の六角形については時計回りに 1.5° ずつ回転させ、中心部から22番目乃至48番目の六角形については反時計回りに 1.5° ずつ回転させている。

【0056】(2-6) 多角形の各辺は閉じることなく、一辺は次の外側の多角形の頂点へ結ばれて連続的に辺を構成しても良い。図7は六角形の場合の例である。また、一つの面内に各辺が閉じた多角形と閉じていない多角形とを混在させても良い。

【0057】(2-7) スロットを設けて平面アンテナ部材を構成する面の形状は、円形または多角形である。例えば、非処理体の外形に応じて、丸形ウェーハの場合は円形、方形のLCDの場合は四角形に設定する。

【0058】(2-8) スロットの長さは面内で一定でも良いし、可変でも良い。例えば、中心部より周辺部に行くに従って長くしても良い。これによって、周辺部に対向する処理空間で発生するプラズマ密度の低下を回避することができる。

【0059】(2-9) スロットの形状は、図3を参照しながら説明したように、長手方向の両端を半円形にした長丸が好適である。望ましい幅は1mmから4mm程度である。また、望ましい長さは、 λg の $1/10$ から $1/2$ 未満である。

【0060】上記(2-1)～(2-9)の規則に従って形成したスロットパターンを例を図9～図13に示す。

【0061】図9のスロットパターンは図5に対応する。このパターンは円形の面上に形成されており、各四角形の辺は外側に行くに従って、時計回りに 1° ずつ回転している。

【0062】図10のスロットパターンも図5に対応する。このパターンは四角形の面上に形成されており、各四角形の辺は外側に行くに従って、時計回りに 1° ずつ回転している。また、このスロットパターンでは、幅方向に隣り合う辺上に形成されたスロットがその長手方向に交互にずれている。

【0063】図11のスロットパターンは、基本的には図5に対応する。ただし、このパターンでは、各四角形の辺は回転していない。

【0064】図12のスロットパターンは図6に対応する。このパターンは円形の面上に形成されており、各六

角形の辺は外側に行くに従って、時計回りに 0.7° ずつ回転している。また、このスロットパターンでも、幅方向に隣り合う辺上に形成されたスロットがその長手方向に交互にずれている。

【0065】図13のスロットパターンは図7に対応する。このパターンは円形の面上に形成されており、各六角形の辺は外側に行くに従って、時計回りに 0.7° ずつ回転している。

【0066】図14のスロットパターンは図8に対応する。このパターンは円形の面上に形成されており、各六角形の辺は、中心部から2番目乃至21番目の六角形については時計回りに 3° ずつ回転し、22番目乃至最外周については反時計回りに 3° ずつ回転している。

【0067】図15はこれまで説明した(1-1)～(1-8)の手順に基づくスロットパターン、あるいは(2-1)～(2-9)の規則に準拠したスロットパターンのいずれとも異なるスロットパターンである。このスロットパターンもスロットの長さは $\lambda g/2$ より短い、スロット間隔は λg より短い、各スロットの法線は平面アンテナ部材の中心部を通らない、中心部に空白領域を設ける、という四つの特徴を有している。

【0068】このスロットパターンは以下の手順により構成する。まず、アンテナ部材の面上に、仮想的なマトリックスパターンあるいは碁盤目模様を構成する。つまり、縦方向および横方向のそれぞれに平行な直線を複数本引く。そして、それらの直交する直線群の交点に一つのスロット配置する。以下、各交点に配置したスロットを中心スロットと呼ぶ。中心スロットの向きは、それぞれの法線が平面アンテナ部材の中心部を通らないように設定する。次に、各中心スロットの両側（外周部は内側のみに）に数個のスロットを配置する。各中心スロットの両側に配置するスロットの向きは、それぞれの中心スロットの向きと同じにする。中心スロットとその両側（外周部は内側のみに）のスロットにより一つのスロット群が構成される。なお、直線群の交点に中心スロット配置するのではなく、直交する直線群により構成される四角形の中心に中心スロットを配置し、その両側に数個のスロットを配置しても良い。

【0069】次に、以上のように構成された本実施の形態によるプラズマ処理装置の動作について説明する。まず、ゲートバルブ40を介して半導体ウェーハWを搬送アームにより処理容器4内に収容し、リフトピン（図示せず）を上下動させることによりウェーハWを載置台6の上面の載置面に載置する。

【0070】そして、真空ポンプを作動させて処理容器4内を所定のプロセス圧力例えば $0.1 \sim 10 \text{ mTorr}$ の範囲内に維持するとともに、マスフローコントローラ28および開閉弁32を操作してプラズマガス供給ノズル20からアルゴンガスを流量制限しつつ供給する。また、マスフローコントローラ30および開閉弁3

4を操作して処理ガス供給ノズル22から例えばCF₄等のエッチングガスを流量制限しつつ供給する。同時にマイクロ波発生器50からマイクロ波を導波管52を介してアンテナ部材44に供給して処理空間SPに電界を形成し、これによりプラズマを発生させ、エッチング処理を行う。

【0071】ここで、マイクロ波発生器50にて発生した例えば2.45GHzのマイクロ波はTEMモードで同軸導波管44内を伝搬してラジアル導波箱46のアンテナ部材44に到達し、内側ケーブル52Bに接続された平面アンテナ部材44の中心44Aから放射状に周辺部に伝搬される間に、このアンテナ部材44に形成された多数のスロット60を通してアンテナ部材直下の処理空間SPの上部、具体的には、プラズマ形成領域SP10に対して概ね径方向へ放射される。また、スロット60から放射されず、平面アンテナ部材の半径方向の端（ラジアル導波箱46の内壁面）で反射して戻ってきたマイクロ波もプラズマ形成領域SP10に対して概ね径方向へ放射される。概ね径方向へ放射されたマイクロ波は、平面アンテナ部材44の平面に垂直な電界成分を有しているため、この電界成分により励起されたアルゴンガスがプラズマ化し、この下方に位置するプロセス領域SP20に拡散してここで処理ガスを活性化して活性種を作り、この活性種の作用でウェーハWの表面に処理、例えばエッチングが施されることになる。

【0072】そして、本実施の形態では、上述のようにスロットの長さ、スロット間隔、およびスロットの向きを設定したので、平面アンテナ部材の半径方向の端で反射して戻ってきたマイクロ波がスロットを通して概ね径方向内側へ放射されるが、スロットが軸対称性を有していないため、平面アンテナ部材の中心部に対向するプラズマ形成領域SP10の電界が強くなる状態を緩和することが可能となる。また、スロットが軸対称性を有していないため、導波管52の内導体52Bから平面アンテナ部材44の中心に供給されたマイクロ波はスロットを通して処理空間に放射される際に、平面アンテナ部材44の半径方向（ラジアル方向）からずれた方向へ伝搬する。これによって、導波管52と平面アンテナ部材44との共鳴を回避することができるので、平面アンテナ部材44の直下におけるプラズマ密度の不均一性を緩和することができる。この結果、プロセス領域SP20において均一なプラズマを発生させることが可能となる。

【0073】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、軸対称性を有しないパターンで平面アンテナの中心部以外の領域にスロットを配置したので、平面アンテナから放射されるマイクロ波の電界が平面アンテナ部材の中心部に対向する処理空間で強くなる状態を緩和することができ、かつプラズマ形成領域におけるプラズマ密度の不均一性を緩和することができる。これによ

て、載置台上に均一なプラズマを発生させることができる。また、平面アンテナ部材から概ね径方向へ放射されるマイクロ波の電界成分によって、プラズマを効率良く発生させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るプラズマ処理装置の一実施の形態を示す断面図である。

【図2】図1のアンテナ部材におけるスロットを説明するための図である。

【図3】スロットパターンの一形態を構成するための手順の一例を説明するための図である。

【図4】図3に示した手順で構成したスロットパターンの一例を示す図である。

【図5】スロットパターンの別の形態を構成するための規則を説明するための図である。

【図6】スロットパターンの別の形態を構成するための規則を説明するための別の図である。

【図7】スロットパターンの別の形態を構成するための規則を説明するためのさらに別の図である。

【図8】スロットパターンの別の形態を構成するための規則を説明するための別の図である。

*【図9】図5に対応するスロットパターンの一例を示す図である。

【図10】図5に対応するスロットパターンの別の一例を示す図である。

【図11】図5に対応するスロットパターンのさらに別の一例を示す図である。

【図12】図6に対応するスロットパターンの一例を示す図である。

【図13】図7に対応するスロットパターンの一例を示す図である。

【図14】図8に対応するスロットパターンの一例を示す図である。

【図15】スロットパターンのさらに別の形態を示す図である。

【符号の説明】

4 処理容器

6 載置台

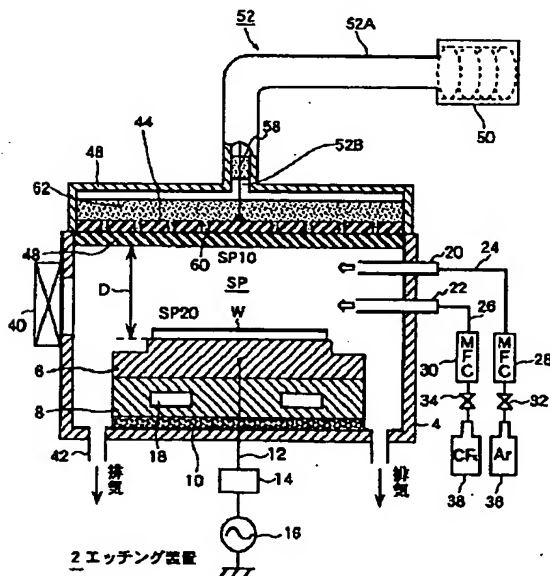
44 平面アンテナ部材

50 マイクロ波発生器

52 導波管

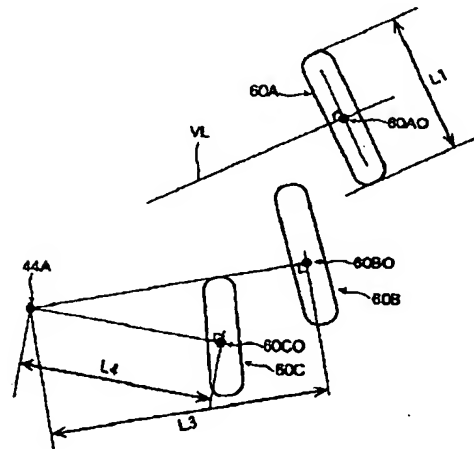
* 60 スロット

【図1】



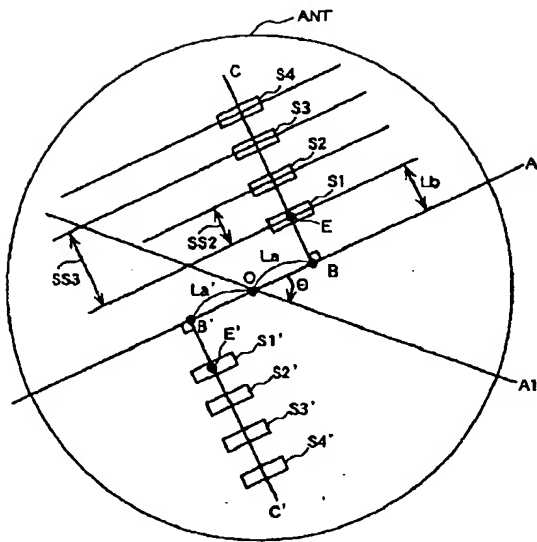
- | | |
|--------------|--------------|
| 4: 処理容器 | 50: マイクロ波発生器 |
| 6: 載置台 | 52: 導波管 |
| 38: プラズマガス源 | 58: シール部材 |
| 38: 加熱ガス源 | 60: スリット |
| 44: 平面アンテナ部材 | SP: 処理空間 |
| 46: ラジアル導波管 | W: 半導体ウェハ |
| 48: 石英ガラス板 | |

【図2】

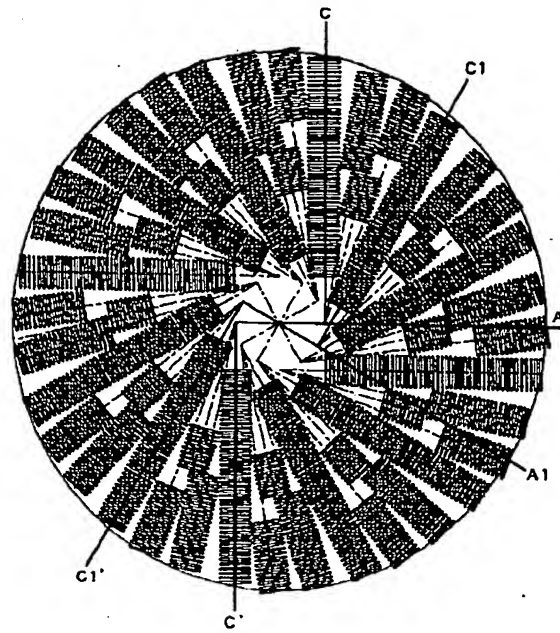


- 60A, 60B, 60C: スロット
 60AO, 60BO, 60CO: スロットの中心
 L1: スロットの長さ
 VL: スロットの法線

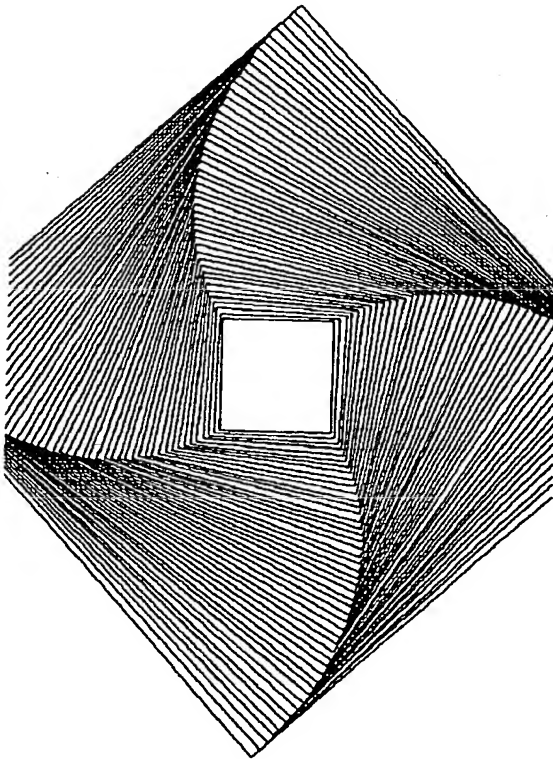
【図3】



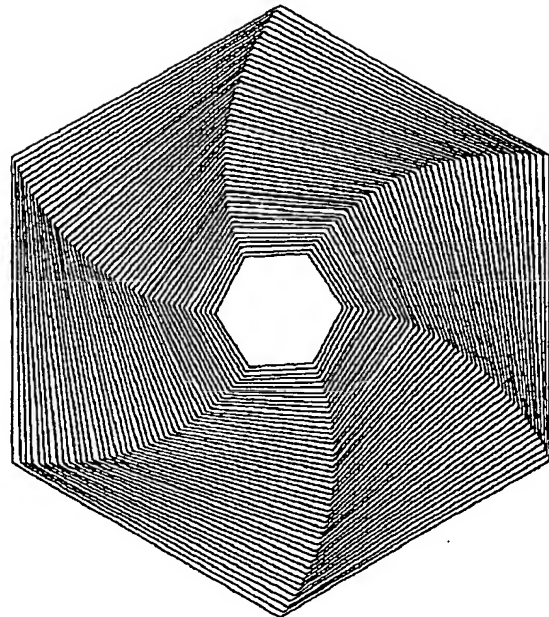
【図4】



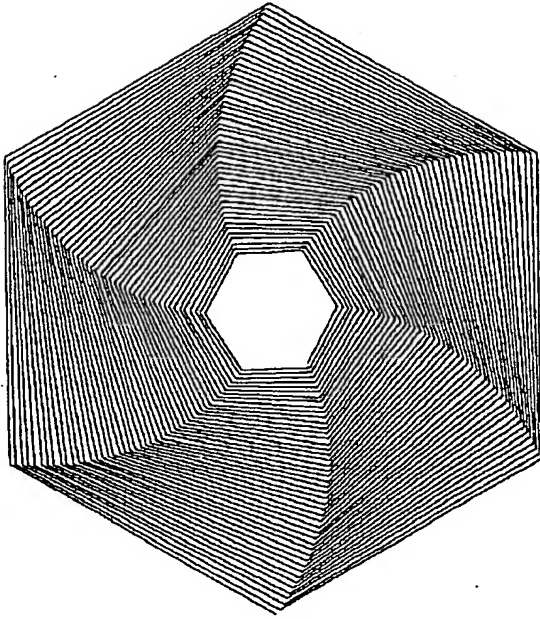
【図5】



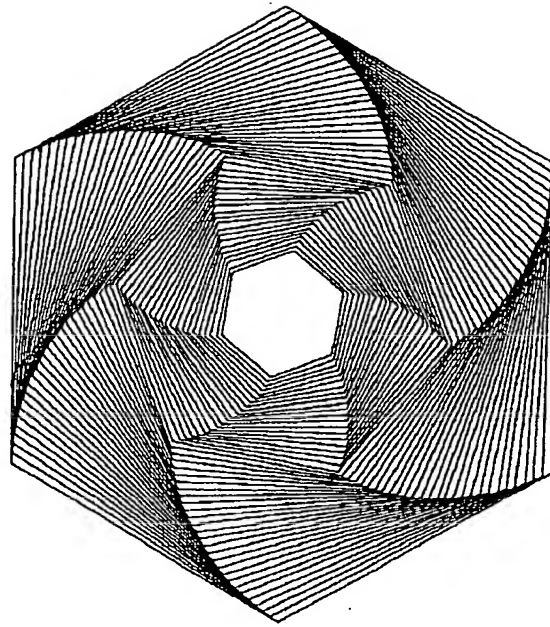
【図6】



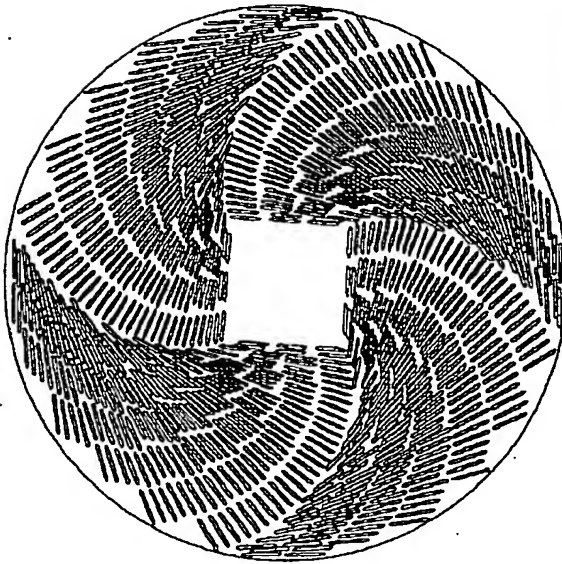
【図7】



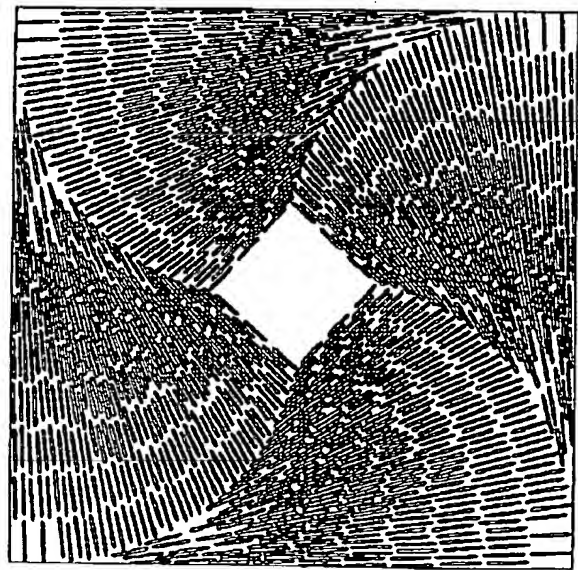
【図8】



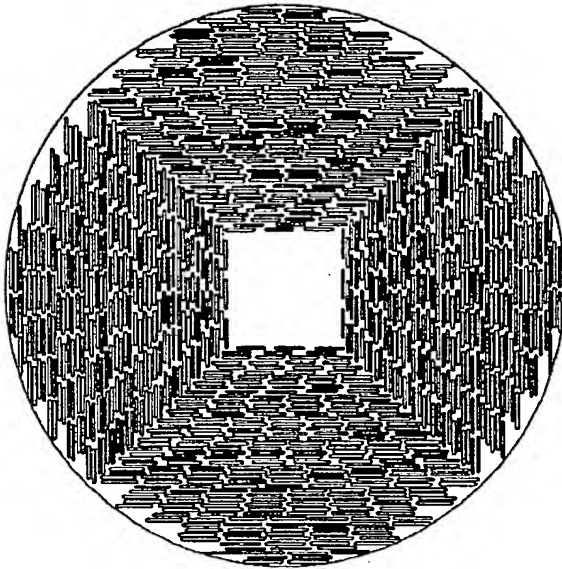
【図9】



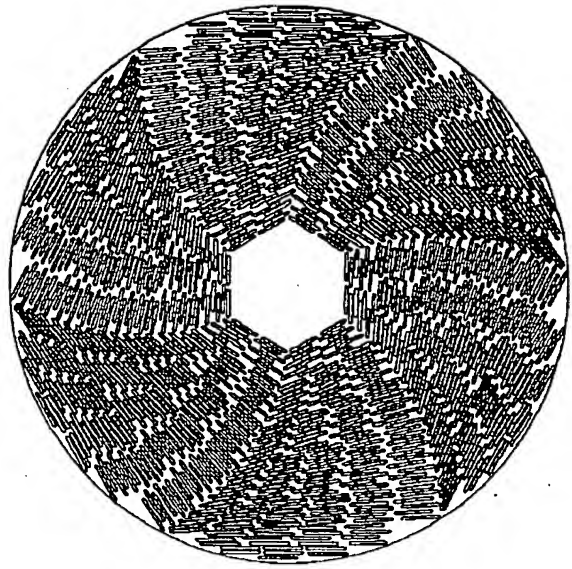
【図10】



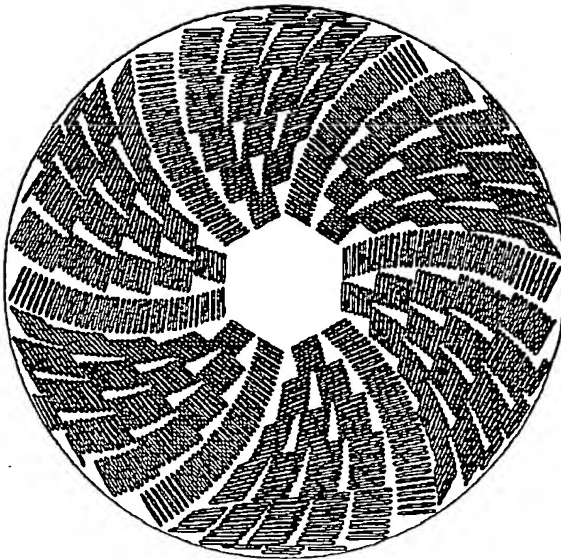
【図11】



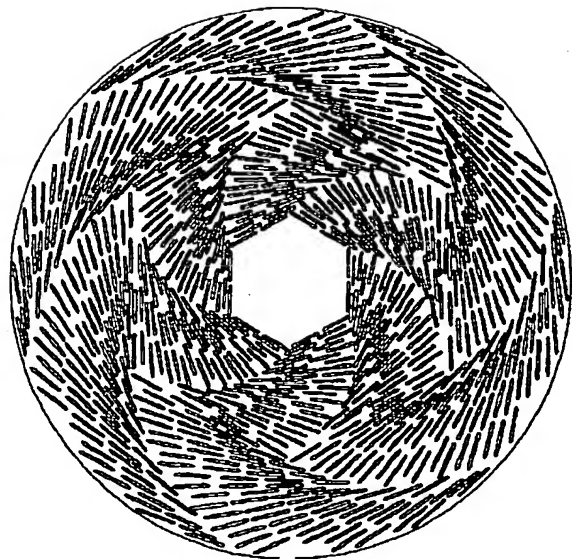
【図12】



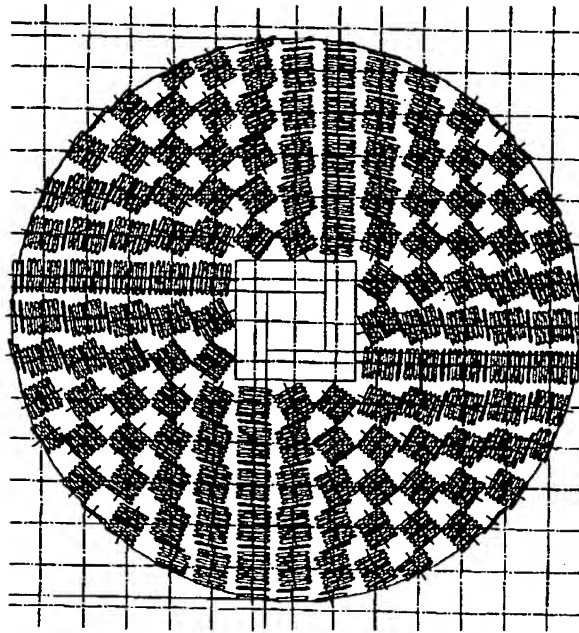
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

H01L 21/31

識別記号

F I

H01L 21/302

タームコード(参考)

B

(72)発明者 石井 信雄

大阪市淀川区宮原4-1-14 東京エレクトロン株式会社大阪支社総合研究所内

(72)発明者 小林 保男

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン株式会社総合研究所内

(72)発明者 森本 保

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン株式会社総合研究所内

(72)発明者 安藤 真

神奈川県川崎市幸区小倉1-1、1-312

(72)発明者 後藤 尚久

東京都八王子市城山手2-8-1

Fターム(参考) 4K030 FA02 KA15

4K057 DA11 DB06 DD01 DE06 DE08

DM29 DM40 DN01

5F004 AA01 BB14 BD01 BD03 BD04

DA01 DA16 DB01

5F045 AA09 DP04 EB02 EB03 EH02

EH03

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.